



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08316125 A**

(43) Date of publication of application: 29.11.96

(51) Int. Cl.

H01L 21/027
G03F 7/20

(21) Application number: 07121115

(71) Applicant: **HITACHI LTD**

(22) Date of filing: 19.05.95

(72) Inventor: **RUDORUFU FUON BUNOO**
FUKUDA HIROSHI

(54) METHOD AND APPARATUS FOR PROJECTION EXPOSING

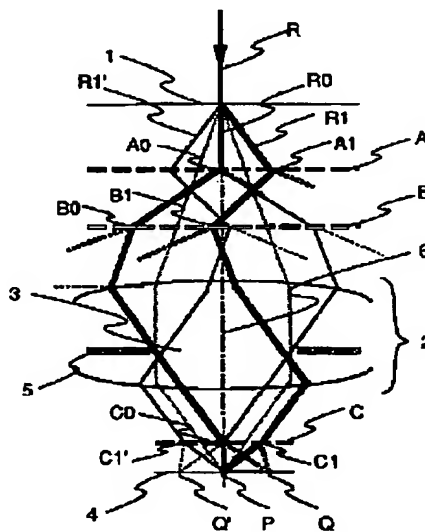
Q, P on the image surfaces.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To improve the resolution exceeding the diffraction limit by emitting the light from a light source to a mask, diffracting the pattern of the mask, diffracting the diffracted light through a projection optical system, and reproducing the pattern on a sample to be exposed.

CONSTITUTION: A mask 1 is inserted between a projection optical system 2 and diffraction gratings A, B, and a diffraction grating C is inserted between the system 2 and a wafer 4. In this case, the gratings A, B, C are simultaneously phase gratings. The light R perpendicularly incident to the mask 1 is diffracted to zero order diffracted light R0, + primary diffraction light R1 and - primary diffracted light R1' on the mask surface. The light R0 arrives at a point A0 on the grating A, and the light diffracted in the - primary direction is diffracted to + primary direction at the point B0 on the grating B. Thereafter, it is diffracted at the point C0 on the grating C via the left end of the pupil 3 in \pm primary direction, and arrived at two points



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-316125

(43) 公開日 平成8年(1996)11月29日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	弁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 2 8
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1
			H 0 1 L 21/30	5 1 4 Z
				5 1 5 Z

審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平7-121115

(22) 出願日 平成7年(1995)5月19日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 ルドルフ・フォン・ブノー

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 福田 宏

東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 小川 勝男

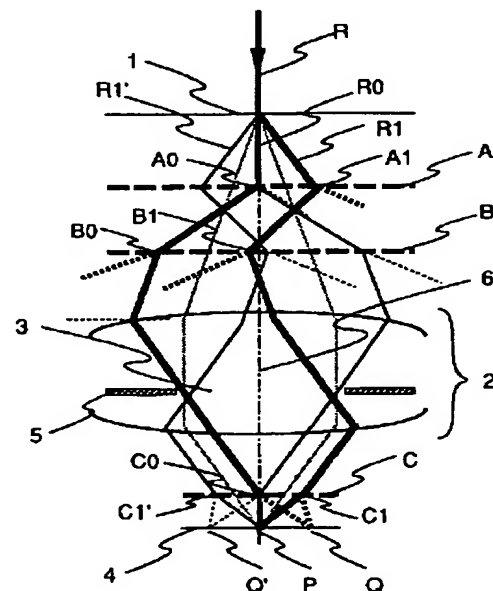
(54) 【発明の名称】 投影露光方法及び露光装置

(57) 【要約】

【構成】 マスク1を投影光学系2により基板4上へ投影露光する際、マスク1と投影光学系2の間に2枚の回折格子(A、B)を、投影光学系と基板の間に1枚の回折格子Cを設け、これにより回折された光の干渉により基板面近傍でマスクパターンの像が再生されるようにした。

【効果】 従来露光装置の空間部分に回折格子を挿入するだけで、光学系のNAを実質的に最大2倍にした効果が得られる。このため、大きな露光フィールドを持ち大量生産に適した縮小投影光リソグラフィを用いて、寸法0.1 μmクラスのLSIの製造が可能となる。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】マスクを準備する工程と、光源からの光を上記マスクに照射する工程と、
上記マスクのパターンを回折する工程と、
該回折した光を投影光学系を通して回折し試料上に上記マスクパターンを再生し露光する工程から成ることを特徴とする投影露光方法。

【請求項2】上記回折する工程として2回回折することを特徴とする請求項1記載の投影露光方法。

【請求項3】光源と、

該光源からの光でマスク上のパターンを照射し、該マスクからの光を回折する第1と第2の回折手段と、
回折した光を試料上に投影する投影光学系と、
該投影光学系からの光を回折する第3の回折手段と、
該第3の回折手段の下に配置された試料を載置する試料台からなることを特徴とする投影露光装置。

【請求項4】上記第1と第2の回折手段は位相格子であることを特徴とする請求項3記載の投影露光装置。

【請求項5】光源を発した波長 λ の光を照明光学系を介してマスクに照射し、上記マスク上のパターンを開口数NA、縮小率M:1の投影光学系により基板上へ結像させることにより上記基板上にパターンを形成する方法において、上記基板と上記投影光学系の間に上記基板と平行な第1の回折格子を有し、前記第1の回折格子により回折された光の干渉により基板面近傍でマスクパターンの像が再生されるように、上記マスクと上記照明光学系の間に、上記マスクと平行に、上記マスク側から順に第2の回折格子と第3の回折格子の2枚の回折格子を設けることを特徴とする投影露光方法。

【請求項6】前記回折格子を設けた光学系の遮断空間周波数 f が、前記回折格子を設けない光学系の遮断空間周波数 f_0 より大きく、かつ f_0 の2倍以下であることを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項7】前記第1の回折格子の空間周期 P_1 は、 $\lambda / (1.42 \cdot NA) \leq P_1 \leq \lambda / NA$ の範囲にあることを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項8】上記第1、第2及び第3の回折格子の周期方向は等しく、上記第1の回折格子の空間周期 P_1 、第2の回折格子の空間周期 P_2 、第3の回折格子の空間周期 P_3 は、ほぼ

$$1/P_3 = 1/P_2 - 1/(M \cdot P_1)$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項9】上記第1の回折格子の上記基板表面から光学距離 Z_1 、及び、上記第2、第3の回折格子の上記マスク表面から光学距離 Z_2 、 Z_3 は、ほぼ

$$(Z_3 - Z_2)/P_2 = (Z_3/M + Z_1 \cdot M)/P_1$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項10】上記第1の回折格子、上記第2の回折格子、及び上記第3の回折格子の各設置位置、上記第1の回折格子、上記第2の回折格子、及び上記第3の回折格子を設ける各透明基板の膜厚、及び上記第2の回折格子の周期を、前記投影光学系のNA及び縮小倍率、各回折格子と上記基板の位置関係に応じて、上記マスク面と像面の間の収差が最小となるように設定したことを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項11】前記第2の回折格子の空間周期 P_2 は、 $P_2 \leq \lambda / (1 - 2 \cdot NA/M)$ を満たすことを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項12】前記第2及び第3の回折格子は、位相格子であることを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項13】前記第1の回折格子は、位相格子であることを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項14】前記基板と前記第1の回折格子の間に、前記一方向に対する幅が $Z_1 \cdot NA$ 以下で、空間周期がほぼ $2 \cdot Z_1 \cdot NA$ の第1の遮光パターンを設けるとともに、前記マスクの直上又は直下に、マスク上の上記第1の遮光パターンとはほぼ共役な領域を遮光する第2の遮光パターンを設けて露光領域を制限するか、又は、上記制限された露光領域を基板上で走査して露光するか、もしくははステップ状に移動しながら露光することを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項15】前記回折格子は1次元回折格子であり、前記投影光学系の波面収差が、瞳上での上記回折格子の周期方向と垂直な方向の直径を軸として、線対称となるように収差補正されていることを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項16】前記マスクは、周期型位相シフトマスクを含むことを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項17】前記マスクは、前記第1の回折格子の周期及び方向に応じて、特定方向に微細なパターンを有することを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項18】前記マスクは、前記第1の回折格子の周期及び方向に応じて、パターン形状を補正したことを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項19】前記第1の回折格子と前記基板の間を、屈折率 n が1より大きい液体で満たし、前記投影光学系のNAを、

$$0.5 < NA < n/2$$

の範囲に設定したことを特徴とする請求項5記載の投影露光方法。

【請求項20】光源を発した波長 λ の光をマスクステージ上のマスクに照射する照明光学系と上記マスク上のパターンを基板ステージ上の基板表面近傍で結像させる開口数NA、縮小率M:1の投影光学系を有する投影露光装置において、上記基板と上記投影光学系の間に上記基

板と平行な第1の空間周期 $P1(\lambda/(1.42 \cdot NA)) \leq P1 \leq \lambda/NA$ の第1回折格子を有し、上記第1の回折格子により回折された光の干渉により基板面近傍でマスクパターンの像が再生されるように、上記マスクと上記照明光学系の間に、上記マスクと平行に、上記マスク側から順に第2の回折格子と第3の回折格子の2枚の回折格子を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項21】上記第1、第2及び第3の回折格子の周期方向は等しく、上記第1の回折格子の空間周期 $P1$ 、第2の回折格子の空間周期 $P2$ 、第3の回折格子の空間周期 $P3$ は、ほぼ

$$1/P3 = 1/(M \cdot P1) + 1/P2$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項20記載の投影露光装置。

【請求項22】上記第1の回折格子、上記第2の回折格子、及び上記第3の回折格子の各設置位置、上記第1の回折格子、上記第2の回折格子、及び上記第3の回折格子を設ける各透明基板の膜厚、及び上記第2の回折格子の周期を、前記投影光学系の NA 及び縮小倍率、各回折格子と上記基板の位置関係に応じて、上記マスク面と像面の間の収差が最小となるように設定したことを特徴とする請求項20記載の投影露光装置。

【請求項23】前記基板と前記第1の回折格子の間に、前記一方向に対する幅が $Z1 \cdot NA$ 以下で、空間周期がほぼ $2 \cdot NA \cdot Z1$ の遮光パターンを有するか、又は、上記遮光パターンにより制限された露光領域を基板上で走査して露光するか、もしくはステップ状に移動しながら露光する機能を有することを特徴とする請求項20記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、各種固体素子の微細パターンを形成するためのパターン形成方法、及びこれに用いられる投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 LSI 等の固体素子の集積度及び動作速度を向上するため、回路パターンの微細化が進んでいる。又、レーザー等の光・電子素子や各種の量子効果素子、誘電体・磁性体素子等の特性向上のため、パターンの微細化が望まれている。現在これらのパターン形成には、量産性と解像性能に優れた縮小投影露光法が広く用いられている。この方法の解像限界は露光波長に比例し投影レンズの開口数(NA)に反比例するため、短波長化と高 NA 化により解像限界の向上が行われてきた。

【0003】又、縮小投影露光法の解像度をさらに向上するための手法として、位相シフト法、変形照明法(斜入射照明法)、瞳フィルター法等、様々な像改良法が適用されている。これらは、従来光学系の性能を理論的な回折限界(遮断空間周波数 $=2NA/\lambda$)ぎりぎりまで有効に使用しようというものである。これら像改良法

(しばしば超解像法と呼ばれる)については、例えば、 $ULSI$ リソグラフィ技術の革新、第1章、第34頁から第49頁(サイエンスフォーラム社刊、1994年、東京)に論じられている。

【0004】一方、顕微鏡の解像度を、従来の上記回折限界を越えて向上する方法として、光学系の空間周波数帯域を拡大する方法がいくつか知られている。これら空間周波数帯域拡大法については、例えば、応用物理、第37巻、第9号、第853頁から第859頁(1968年)に論じられている。このうちの1つの方法は、2つの格子パターンを物体及び像の直上(少なくとも焦点深度内)で互いに共役関係を保ちつつスキャンするもので、物体とその直上の第1格子パターンの重ねあわせによりモアレパターンを形成し、このモアレパターンをレンズ系を通過させ、像側で第2の格子パターンと重ねることにより復調を行なう。モアレパターンは、物体及び第1格子パターンより低い空間周波数を有するため、レンズ系を通過することができる。この方法を縮小投影露光法に適用することが出願されている。一般に、ウエハー直上で格子パターンを機械的にスキャンするのは困難なため、ホトクロミック材料をウエハ上に直接設け、これに干渉縞を重ねてスキャンすることにより、格子として機能させている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記様々な従来技術には次のような課題がある。

【0006】まず露光光の短波長化は、光学(レンズ)材料の透過率の問題から ArF エキシマレーザー(波長193nm)が限界と考えられる。又、レンズ設計及び製造上の問題から、投影光学系の NA は0.6~0.7が限界と考えられる。しかるに、従来露光法の解像限界は一般に $0.5\lambda/NA$ 、周期型位相シフト法を用いた場合は $0.3\lambda/NA$ 程度であり、従って、上記短波長化及び高 NA 化の限界を用いても、 $0.1\mu m$ 以下のパターンは形成は難しい。又、上記周期型位相シフト法ではマスクパターンが制限されるため、より一般的な回路パターンに関して、実際の限界寸法はさらに後退する。又、 LSI の大規模化に伴い露光面積の拡大が要求されているが、投影光学系の露光フィールドの拡大と高 NA 化の要求を同時に満足することは極めて困難となっている。

【0007】一方、従来の回折限界を越えることを目的とする各種空間周波数帯域拡大法は顕微鏡を対象とし、微小な物体を拡大することを目的とする。このため、光リソグラフィで要求される微小な光学像を形成するには必ずしも適してはいないという問題点があった。例えば、前記モアレパターンを利用する方法では、2つの格子をマスク及びウエハーの直上で互いに共役関係を保ちつつスキャンするための機構又は光学系が著しく複雑となる。レジストの露光が実質的にエバネッセント光で行われるため波長レンジで光が減衰して厚いレジストを露

光するのが困難となる等の問題がある。さらに、ホトリミックを使用する場合でも適当な材料がない。従って、LSIの大量生産を考えた場合、必ずしも実用的とはいえないという問題点があった。

【0008】本発明の目的は、各種固体素子の微細パターンを形成する投影露光法において、その解像度を、従来の回折限界（遮断空間周波数）を越えて向上する方法を提供することにある。具体的には、投影光学系のNAを変えることなしに、そのNAを実質的に最大2倍にしたのとはほぼ同等の効果が得られる新規な投影露光方法と、これを可能とする露光装置を提供することにある。

【0009】本発明の別の目的は、従来型の露光装置の構成と光学系を大きく変更することなく、これらに多少の改良を加えるだけで解像力向上効果の得ることが可能で、かつ大きな露光フィールドと高い解像力を同時に満足するLSIの大量生産に適した投影露光方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的は、波長 λ の光を用いてマスクパターンをの投影光学系（開口数=NA、縮小率=1:M）により基板上へ結像させてパターンを形成する際、上記基板と上記投影光学系の間に、上記基板と平行に、空間周期P1（但し、 $\lambda/(1.42 \cdot NA) \leq P1 \leq \lambda/NA$ であることが望ましい）の第1の回折格子を設けるとともに、上記第1の回折格子により回折された光の干渉により基板面近傍でマスクパターンの像が再生されるように、前記投影光学系と前記マスクの間に、上記マスクと平行に、上記マスク側から順に第2の回折格子と第3の回折格子の2枚の回折格子を設けることにより達成される。

【0011】第1の回折格子の回折光によりマスクパターンの像を忠実に再生するためには、上記第1、第2及び第3の回折格子の周期方向は等しく、上記第1の回折格子の空間周期P1、第2の回折格子の空間周期P2、第3の回折格子の空間周期P3を、ほぼ $1/P3 = 1/P2 - 1/(M \cdot P1)$ の関係を満たす様に設定する。

又、上記第1の回折格子の上記基板表面からの光学距離Z1、及び、上記第2、第3の回折格子の上記マスク表面からの光学距離Z2、Z3は、ほぼ

$(Z3 - Z2)/P2 = (Z3/M + Z1 \cdot M)/P1$ の関係を満たす様に設定する。さらに、 $P2 \leq 1/(1 - 2 \cdot NA/M)$ であることが望ましい。又、第1、第2、第3の回折格子の設置位置、各回折格子の透明基板の膜厚、及び第2の回折格子の周期を、上記マスク面と像面の間の収差が最小となるように設定することが好ましい。又、基板と第1の回折格子の間に、幅が $Z1 \cdot NA$ 以下で、空間周期がほぼ $2 \cdot Z1 \cdot NA$ の第1の遮光パターンを、又、前記マスクの直上又は直下に上記第1の遮光パターンとほぼ共役な領域を遮光する第2の遮光パターンを設けて露光領域を制限することが好ましい。さ

らに、必要に応じて、上記制限された露光領域を基板上で走査して露光するか、もしくはステップ状に移動しながら露光することが好ましい。これら各回折格子は、位相格子であることが好ましい。

【0012】なお、前記回折格子は1次元回折格子とし、前記投影光学系の波面収差を、瞳上で上記回折格子の周期方向と垂直な方向の直径を軸として、線対称となるように収差補正することが好ましい。又、本発明は、マスクとして周期型位相シフトマスクを用いた場合、特に大きな効果を発揮する。さらに、必要に応じて回折格子の周期及び方向に応じて、微細なパターンの周期や方向を制限したり、パターン形状を補正することが望ましい。又、第1の回折格子と前記基板の間を屈折率nが1より大きい液体で満たし、前記投影光学系のNAを、

$$0.5 < NA < n/2$$

の範囲に設定すると、さらに微細なパターンの形成が可能となる。

【0013】

【作用】本発明は、投影光学系の最終エレメントとウェハの間に回折格子を設け、ウェハ面へ入射する光ビームの入射角を大きくすることにより、実効的にNAを増大するのと等価な効果を得ようというものである。しかし、単純に従来光学系のレンズ-ウェハ間に回折格子を設けただけでは、本来像面上の1点に集約するはずの回折光は、像面上のばらばらな位置に散らばってしまい、マスクパターンの再生は到底困難である。従って、干渉の結果元のマスクパターンに忠実な像が再生されるように、光学系を再構成する必要がある。しかも実用性の観点から、これらの光学系は、従来の投影光学系を大きく改造することなく、しかも従来のマスクが使用可能であることが好ましい。本発明は、以下述べるようにこれらの要求を満足するものである。

【0014】本発明の作用を説明するために、本発明による結像の原理を従来法と比較して説明する。本発明の一形態に基づく光学系における結像を図1に、又比較のため、従来投影露光光学系で従来マスク又は位相シフトマスクを、各々垂直に照明した場合と斜めに照明した場合の結像の様子を図2a、b、c、dに示す。いずれの図でも、2:1縮小光学系とコヒーレント照明、1次元パターンを仮定し、近軸結像近似した。

【0015】まず、従来光学系で通常マスクを垂直照明した場合（図2a）、透過型マスク21に垂直入射した光22はマスク上のパターンにより回折され、回折光のうち投影光学系23の瞳24（絞り20の内側）を通過した光線が像面25上に収斂し、干渉してパターンを形成する。ここで、瞳を通過できる最大の回折角を与えるパターン周期を解像限界と定義すると、解像限界は、 $\lambda/(2NA)$ （但し $NA = \sin \theta_0$ ）となる。さらに、この光学系に周期型位相シフトマスク26を適用す

ると、図2bに示したように0次回折光が消滅して光軸29（図中一点鎖線）に対して対称に回折光が生じる。このため、瞳を通過できる最大の回折角は2倍となり、解像限界は $\lambda/(4NA)$ まで向上する。

【0016】又、従来光学系に斜め照明を適用すると（図2c、簡単のためマスク回折光の0次光27が図中瞳の左端を通過すると仮定した）、マスク回折光のうち0次光を中心として正負どちらかの回折角をもつ片側成分（図では+1次光28）だけが瞳を通過し、像面に収斂する。垂直入射の場合の2倍の回折角を有する回折光が瞳を通過できるため、解像限界はやはり $\lambda/(4NA)$ となる。しかし、回折スペクトルの片側しか用いないため、例えば孤立パターンの解像度は垂直照明の場合と変わらず、又、周期パターンの場合でもコントラストが低下する等の問題がある。さらに、マスクを周期型位相シフトマスク26に変更すると複数の回折光は瞳を通過できないため、パターンは解像しない（図2d）。

【0017】次に、本発明の一形態に基づく光学系における結像を図1に示す。図1の光学系は、図2の従来光学系において、マスク1と投影光学系2の間に回折格子A及び回折格子Bを、又、投影光学系2とウエハ4の間に回折格子Cを挿入したものである。ここで、回折格子A、B、Cはともに位相格子とする。

【0018】マスク1に垂直入射した光Rはマスク面で0次回折光R0、+1次回折光R1、-1次回折光R1'に回折される。0次光R0は回折格子A上の点A0に達し、そこで-1次方向に回折された光は、回折格子B上の点B0で+1次方向に回折された後、瞳3（絞り5の内側）の左端を経て回折格子C上の点C0で±1次方向に回折され、各々像面上の2点Q、Pに達する。又、+1次回折光R1は、回折格子A上の点A1に達し、そこで-1次方向に回折された光は回折格子B上の点B1で+1次方向に回折された後、瞳3の右端を経て回折格子C上の点C1で±1次方向に回折され、やはり像面上の点Q、Pに達する。一方、点A0で+1次方向に回折された0次光R0'と-1次回折光R1'に対する光路は、上述の2光線の光路と光軸6（図中一点鎖線）に対して対称となる。即ち、両者は、最終的に回折格子C上の点C0で±1次方向に回折され像面上の点P、Q'に達する。従って、P点ではマスクで回折された0次光、及び+1次、-1次光線の3つの光線が交わる。このことが、マスク回折角に依らないのは明らかである。従って、点Pでは回折像が忠実に再生される。

【0019】従来法（図2a）と比べると、同一のNA、倍率を持つ光学系を用いて、2倍の回折角をもつ回折光が瞳を通過できるため、実質的にNAを2倍したのと同様の効果が得られる。又、斜め照明（図2b）では0次光を中心として正負どちらか片方の回折光しか像面で再生できないのに対して、本発明では両側の回折光を像面で再生できるため、斜め照明では困難であった孤立

パターンの解像度向上が可能で、また周期パターンに対して大きなコントラストを得ることができる。さらに、本光学系に周期型位相シフトマスクを適用すると（図3a）、0次回折光が消滅して通常の倍の回折角を有する+1次光R+と-1次光R-が干渉する結果、最小解像度は $\lambda/(8NA)$ となる。これは、これまで周期型位相シフトマスクや斜め照明を用いた場合の理論限界である $\lambda/(4NA)$ の半分であり、本発明により飛躍的な解像度の向上が可能となる。また、本光学系において斜め照明を適用した場合の結像の様子を図3bに示す。斜め照明により、片側のみに対して大きな回折角をもつ回折光R1'まで瞳を通過させることが可能となり、垂直照明時の最大2倍、即ち $\lambda/(8NA)$ まで解像度を向上できる。又、マスク入射角の異なる様々な照明光を用いれば、従来光学系におけるのと全く同様に部分コヒーレント照明の効果を得ることができる。

【0020】本発明の原理をフーリエ回折理論の立場から説明すると次のようになる（図4）。以下の説明では、光学系の倍率は1、回折格子は1次元位相格子で±1次回折光のみを考えるものとする。像面上の点Pから、回折格子Cを介して瞳3を見ると、回折により瞳は2つに分かれて見える（図4a）。各瞳の中には、各々ある特定の角度で瞳を通過するマスクフーリエ変換像が見える。一方、マスク側について考えると、マスクにより回折された光は回折格子A及びBで回折されて、瞳上に複数のマスクフーリエ変換像を形成する。このうち、ある特定の角度で瞳を通過したものが、上で見た瞳の中に見えることになる（図4b）。即ち、図4の場合、図4bの右のフーリエ回折像が図4aの左側の瞳の中に見え、図4bの左のフーリエ回折像が図4aの右側の瞳の中に見える。このとき、点Pで正しく像が再生されるための条件は次の2点である。

【0021】（1）2つの瞳を介してマスク上の同一点のスペクトルが見えること。

【0022】（2）2つのスペクトルが、2つの瞳の接点で連続して接続すること。

【0023】言い替えれば、1つの連続するスペクトルを複数の瞳を介して見るようにする必要がある。

【0024】像から見て、回折格子Cを介してf'シフトした複数の瞳が見え、その各瞳の中に回折格子B及びAを介してやはりf'シフトした複数のフーリエ回折像が見えるとすると、真の像の振幅分布u(x)は次式で表わされる。

【0025】

$$u(x) = F[\sum p(f-f') \cdot \sum o(f-f'')]]$$

$$f' = \pm SC$$

$$f'' = \pm (SA - SB - SC)$$

ここで、F[]はフーリエ変換、p(f)は瞳関数、o

(f)はマスクフーリエ回折像、xは実空間座標、fは空

間周波数座標、 S_A 、 S_B 、 S_C は回折格子A、B、Cの回折角の \sin (正弦)、 Σ は異なる回折次数に対する和を表す。従って、

$$S_A = S_B + S_C$$

とすると、

$$f'' = 0$$

となり、 $f' = \pm S_C$ の両方に対して共に $f'' = 0$ となる項を得ることができる。即ち2つの瞳 p ($f \pm S_C$)を介して1つのスペクトル o (f)を見ることができる。さらに、点Pでマスク上同一点に対する像を得るためには、マスク面と回折格子A、B間の距離、及び回折格子Cと理想像面間の距離、各々 Z_A 、 Z_B 、 Z_C を、 $S_A \cdot (Z_B - Z_A) = S_C \cdot (Z_B + Z_C)$ とすればよい。

【0026】上の条件を近軸近似の下で縮小率 M ：1、像側開口数 NA の光学系に適用すると、回折格子A、B、Cの周期 P_A 、 P_B 、 P_C 、マスク面と回折格子A、B間の距離 Z_A 、 Z_B 、回折格子Cと理想像面間の距離 Z_C をほぼ次のように設定すればよいことがわかる。

$$\begin{aligned} \text{【0027】} & 1/P_A = 1/P_B - 1/(M \cdot P_C) \\ & (Z_B - Z_A)/P_A = (Z_B/M + M \cdot Z_C)/P_C \end{aligned}$$

さらに、本発明により十分な解像度向上効果を得るためには、

$$\lambda/NA \leq PC \leq \sqrt{2} \cdot \lambda/NA$$

とすることが好ましい。

【0028】回折格子A、Bは、位相格子であることが好ましい。回折格子A、Bが完全な位相格子でなく0次光を透過する場合、本方法より解像性に劣る従来光学系や斜入射光学系等の効果が本方法の効果に重なる。このため解像性が劣化する恐れがある。一方、回折格子Cは位相変調格子であっても振幅強度変調格子であっても構わない。回折格子Cの周期はかなり小さく、屈折率1.5のシリコン酸化膜を考えると格子パターンの断面縦横比はほぼ1程度となる。この場合、パターン断面での光の散乱効果に注意する必要がある。遮光パターンからなる回折格子の場合、遮光膜の厚さはかなり薄くできるため散乱の影響は低減できる。但し、後で述べるように、位相変調格子を用いる方が露光領域を広くすることができる。

【0029】回折格子Bの基板側を屈折率 n が1より大きい液体等で満たすと、この領域の波長と回折角の $\sin n$ が $1/n$ となる。そこで、さらに回折格子Bの周期を細かくし、回折角を液体を満たさない場合と等しくすると、波長だけが $1/n$ となるため解像度も $1/n$ に向上する。この場合、マスク側ではより回折角の大きな回折光が瞳を通過できる様マスク照明角を増大させる必要があるが、このとき回折角の小さな回折光は瞳を通過できなくなる。そこで、瞳の径をこれに応じて増大することが望ましい。このことは次のように言い替えることもできる。回折格子Bと基板の間の屈折率が1の場合、本発

明で用いる投影光学系の NA を0.5以上にしても何ら解像度向上は得られない。 $\sin \theta > 0.5$ の角度 θ で周期 λ/NA の回折格子Bに入射する光線に対する回折角は90度以上となり、エバネッセント波として回折格子表面に局在化してウエハーには伝わらないためである。一方、回折格子Bと基板の間の屈折率を n とすると、 $\sin \theta = NA$ の角度で回折格子B(瞳の端を通過した0次光がウエハーに垂直入射するためには周期 λ/NA でなければならない)へ入射した光の回折角 θ' は $\sin \theta' = (\lambda/P_B + \sin \theta)/n = 2NA/n$ となり、 $\theta' < 90$ 度であるための条件は、 $NA < n/2$ となる。即ち、本発明を最大 $NA = n/2$ の光学系まで有効に適用できる。一般に液浸光学系は特別な光学設計を必要とするが、上述の様に本発明に適用した場合には何ら特別なレンズを必要としない。従って、半導体プロセスにおいて通常使用されている $NA 0.6$ 程度の投影レンズを用いて、回折格子Bと基板の間を水(屈折率約1.3)で満たして露光すれば、実質的に NA を1.2としたのと等価な効果が得られる。この場合、位相シフトマスクを用いれば、水銀ランプのi線の波長(365nm)でも、0.1 μm 以下の解像度が得られることになる。なお、本方法では、ウエハー近傍で干渉する光の入射角は極めて大きいため、結像性能は光の偏光状態に強く依存する。一般に、電場ベクトルが光の入射面に垂直な偏光状態を有する光の方が、高いコントラストの像を形成する上で望ましい。

【0030】以上の議論は全て近軸近似を仮定し、回折格子の基板の屈折率を1としたものであり、実際には回折格子の基板の屈折率の効果や、回折格子により生じる収差の影響を厳密に考慮する必要がある。このため、各回折格子の設置位置等は若干変更する場合がある。複数の回折格子のパターンの周期方向は十分な精度で一致させることが好ましいことはいうまでもない。

【0031】次に、本発明において注意すべき点について4点述べる。

【0032】第1に、本光学系では従来露光法と比べて、一般に露光領域が制限される。図1より分かるように、像面上の点Q、Q'においても2光線が交わり互いに干渉して像が形成される。この像は、本来形成されるべきでない位置に生じる偽の像であり、一般に好ましくない。これを回避するため、図5aに示すように像面51の直上(ウエハーと回折格子Cの間)に遮光マスク52を設けてこれらの偽の像を遮断することが望ましい。回折格子Cと遮光マスク52は、図に示したように同一の石英基板53の両面に形成することができる。(別々の基板上に形成しても構わない。)又、これと同時に同様に、マスクの直上又は直下に上記遮光マスクとほぼ共役な領域を遮光するマスキングブレードを設ける等して、マスク照明領域を上記共役な領域に制限することが好ましい。1回の露光で転写可能な露光領域は、真の

像(P点)と偽の像(Q点)の間の距離(ほぼ $2 \cdot NA \cdot Z/B$)に相当する領域で、上記距離の2倍を周期として繰返し現れる。従って、露光可能な領域が露光したい面積より狭い場合には、図5bに示した様に、露光領域をウェハ上でスキャンすることが望ましい。この際、光学系の縮小率がM:1であったならば、マスクスキャン速度とウェハスキャン速度の比も厳密にM:1とすることが望ましいことはいふまでもない。これら露光領域をマスク及びウェハ上で同期スキャンする方法に関しては、既存の露光装置で用いられている方法をそのまま用いることができる。一方、露光可能領域が露光したい面積より大きい場合、即ち、真の像と偽の像の間の距離が例えば1個のチップをカバーする場合には、スキャンせずに露光可能である。露光領域の大きさは回折格子Bの設置位置によって決まり、回折格子Bを像面から離すほど、1つの露光領域の幅は増大する。但し、同時に転写不可能な領域の幅も増大するため、両者の割合はほぼ1:1のまま変わらない。偽の像の影響を排除するために、ウェハ上露光領域の幅Wは、 $W \leq NA \cdot Z/B$ とすることが望ましい。又、回折格子Bに振幅強度変調格子を用いた場合には、格子の0次回折光が真の像と偽の像の中間点にもう一つの偽の像を形成するため、露光領域は位相格子の場合のほぼ半分となる。

【0033】第2に、本方法では一般に露光強度が低下する。本方法でウェハ上で結像する光線は、光学系中に挿入された回折格子により回折された光線のうち特定の回折次数の光だけを用いている。従って、回折格子を通過する度に露光に寄与する光強度は低下することになる。また、上で述べたようにマスク及びウェハ上で露光領域を制限していることも、スループロット低下の原因となる。このため、本方法では十分に強度の強い光源を用いる、感度の高い化学増幅系レジスト等のレジスト材料を用いる等の対策を行うことが望ましい。

【0034】第3に、前の説明で示したように、瞳上には、 $f''=0$ の望ましい回折像に加えて、 $f''=\pm 2(SA+SB)$ だけシフトしたフーリエ変換像が生じる。これは、マスクパターンの高次スペクトルが実質的に低い空間周波数領域に重なってしまうことを意味し、一般に好ましくない。図1の光学系においてこれを避けるためには、

$$PA \leq 1 / (1 - 2 \cdot NA / M)$$

とすればよい。この場合、マスクで回折角 $2 \cdot NA / M$ で回折された回折光(図1中R1)に対する回折格子Aによる+1次方向の回折光(図1中A1から発する点線に相当)は存在できないからである。

【0035】第4に、本発明の光学系では、回折格子導入に伴う収差に注意する必要がある。回折格子により発生する収差について、図6を用いて説明する。マスク通過後の光線が光軸と回折格子の周期方向を含む面内にあると仮定する(例えば、1次元パターンとコヒーレント

照明)。図6aの光学系が無収差であるためには、例えば $OX_1X_2X_3I$ 、 $OY_1Y_2Y_3I$ 、及び $OZ_1Z_2Z_3I$ の各光路長の差が0でなければならない。しかし、これらの間に光路長差があるとこれが収差となる。ここで投影光学系は収差0の理想的な光学系であると仮定すると、 $X_2X_3=Y_2Y_3=Z_2Z_3$ より、 $OX_1X_2+X_3I$ 、 $OY_1Y_2+Y_3I$ 、及び $OZ_1Z_2+Z_3I$ の差が収差となる。瞳の直径を横切る $OX_1X_2X_3I$ から $OZ_1Z_2Z_3I$ に至る光路の波面収差を $OY_1Y_2Y_3I$ を基準として規格化した瞳半径座標sに対してプロットすると図6bの実線のようにになる。マスク通過後光軸に対して+の角度を有する光線に対する収差 $w+(s)$ は瞳上で一般に非対称となることがわかる。同様に光軸に対して-の角度を有する光線に対する収差 $w-(s)$ は、光学系の対称性から $w+(s)$ と瞳を中心として対称となる。本発明では、+方向に回折した光と-方向に回折した光を同時にウェハ上で干渉させる必要があるから、両者に対する収差を同時に補正する必要がある。しかし、図6bからわかるように、+方向と-方向に回折した光に対する瞳上収差が一致しないことから、これらを同時に投影光学系で補正することは原理的に困難となる。従って、これらの収差は、マスクと投影光学系の間、又はウェハと基板の間で補正することが好ましい。これは、一般に次のような方法で行うことができる。

【0036】 $w+(s)$ と $w-(s)$ が等しければ、これを投影光学系で補正することが可能である。そこで、 $\Delta w(s) = \{w+(s)\} - \{w-(s)\}$ を、瞳上(図6では $-1 \leq s \leq 1$ の範囲)で波長と比べて十分に小さい量 δ に抑えればよい。一方、 $\Delta w \pm(s)$ は、各回折格子の設置位置と周期、回折格子を支える基板の厚さと屈折率、基板と回折格子の相対位置関係等のパラメータ x_i ($i=1, 2, \dots$)の関数として表される。そこで、問題は、 $-1 \leq s \leq 1$ の範囲で、 $\Delta w(s, x_i) < \delta$ を満たす x_i を求めることに帰着する。実際の最適化の例については実施例で述べる。いずれにせよ、このようにして、マスク通過後光軸に対して±の角度を有する光線に対する収差を瞳上で対称な形とすれば、これを投影光学系において補正することができる。又、さらに上で述べた方法により収差自体を十分に抑制することができれば、より好ましい。

【0037】以上、簡単のためマスクパターンとして1次元のパターンを想定したが、実際には2次元パターンが存在したり、部分コヒーレント照明を用いた場合には、マスク通過後の光線は、光軸と回折格子の周期方向を含む面内に収まらず、瞳上の様々な点に向かう。この場合、 Δw として、瞳上の2次元座標(s, t)の関数 $\Delta w(s, t) = \{w+(s, t)\} - \{w-(s, t)\}$ を考え、瞳面内で、 $\Delta w(s, t, x_i) < \delta$ を満たす x_i を求めればよい。これは、 $w \pm(s, t)$ を瞳上でs=0に対してできるだけ対称な形とすることを意味する。

【0038】さらに、全ての方向に対して本発明の効果を得るためには、例えば図7 a、b に示すように各回折格子を2次元回折格子とすることが考えられる。この場合、見かけ上の瞳の形は4回対称となる。しかしながら、上で述べた事情により、互いに垂直な2組の瞳に対して瞳上で同時に収差補正することは、光学系のNAが小さい場合を除いてやや困難である。このため、マスク上ですべての方向に対して同等に本発明の効果を得ることはやや難しく、図8のような1次元回折格子を用いるのがより現実的である。図8 a、b、c は3つの代表的な回折格子と見かけ上の瞳形状である。図8 a の場合、x 方向のパターンに対して実質的なNAは2倍近く増大するが、y 方向のパターンに対しては減少する。図8 b の場合、x 方向のパターンに対して実質的なNAは $\sqrt{2}$ 倍となり、y 方向のパターンに対しては $1/\sqrt{2}$ となる。図8 c の場合、x、y 両方向ともNAは $\sqrt{2}$ 倍となるが、x、y 方向以外に対する結像性能は著しくパターン方向に依存すると考えられる。何れの場合にも、マスク上でパターンのレイアウトルール等に方向による制限を課すことが望ましい。

【0039】結像性能のパターン方向依存性をなくすためには、図8 a、b、c の条件を、各々例えば90度回転させて多重露光を行ってもよい。特に、図8 c にこれを適用した場合には、x、y 方向以外に対するパターン方向依存性を抑制し、かつ像コントラストを犠牲とせず、x、y 両方向ともNAを $\sqrt{2}$ 倍したのと同等な像を得ることができる。但し、回折格子を90度回転させた場合、収差特性も90度回転する。そこで、収差補正を瞳フィルターを用いて行い、回折格子とともにこれを90度回転させる等の対策を施すことが望ましい。なお、収差抑制が困難な場合には、必要に応じて瞳にスリットフィルターを設ける等してもよい。

【0040】図3に示したように周期型位相シフトマスクを完全コヒーレント照明した場合には、ウエハー近傍で干渉する ± 1 次光の光路は光軸に対して常に対称であり、各々の光路長は等しい。従って、光学系が収差補正されていなくても微細パターン形成可能である。即ち、完全コヒーレント照明下で周期型位相シフトマスクを用いる場合には、図7に示したような2次元回折格子が使用可能で、位相シフトマスクの効果をパターン方向に依らず最大限に発揮することができる。様々なパターンの混在するマスクパターンを転写する場合には、微細周期パターンのみを上記方法で露光し、その後その他の部分を従来露光法で露光すればよい。

【0041】また、上記収差は一般にNAの値とともに急激に増大する。このため、NA0.1~0.2程度の光学系では比較的問題とならない。従って、低NA・低倍率の大量積用露光装置や、反射型の軟X線縮小投影露光装置等に適用する場合には、上で述べたような様々な制約が軽減される。

【0042】以上、本発明は、0次回折光線を中心としたフーリエ回折像の左右片側を各々別々に瞳を通して、これを像側で合成するものであるといえる。この考え方自体は、前述の文献に論じられている様に既に光学顕微鏡に応用されているものであるが、これを縮小投影光学系上で実現可能な光学系の構成はこれまで考案されていなかった。本発明は、これを縮小投影露光系においてたくみに実現したものに他ならない。即ち、図1の光学系は、投影光学系とウエハーの間に回折格子を設け、ウエハー面へ入射する光ビームの入射角を大きくするとともに、ウエハー面干渉の結果元のマスクパターンに忠実な像が再生されるように、光学系を構成したものである。本発明は、屈折光学系、反射光学系、及びこれらの組合せ、縮小光学系、等倍光学系等、様々な投影光学系に適用できる。これらの光学系を用いてマスクパターンをウエハー上へ露光する場合の露光方法としても、一括転写、スキャン方式、ステップアンドリピート、ステップアンドスキャン等のいずれにも適用可能である。又、以上の説明より明らかなように、本発明は純粋に幾何光学的な効果に基づいている。従って、前述のモアレ縞を用いる方法における様なエバネッセント光利用に起因する問題点は生じない。又、回折格子はウエハーより離して設置可能で、しかも同期スキャン等の必要もないため、はるかに容易に実現可能である。

【0043】

【実施例】

(実施例1) 本発明に基づき、NA=0.45、光源波長 $\lambda=248\text{nm}$ 、縮小率4:1のスキャン型KrFエキシマレーザ投影露光装置を、図9に模式的に示すように改造した。即ち、マスクステージ100上に設置したマスク101と投影光学系102の間に、両面に位相格子パターンを有する透明石英板103を挿入した。又、ウエハーステージ(試料台)104上に設置したウエハー105と投影光学系102の間に、片面に遮光パターン、もう片面に位相格子パターンを有する透明石英板106を、遮光パターンの側がウエハーに対面するように挿入した。遮光パターンは幅 $300\mu\text{m}$ 周期 1mm のCrパターン、位相格子パターンは周期 $=\lambda/\text{NA}$ のSi酸化膜パターンとした。マスク側透明石英板103上の位相格子パターンの周期は、ウエハー側の4倍である。Si酸化膜厚は、膜の存在部と存在しない部分を透過した光の位相が180度ずれるように設定した。これらのパターンはEBリソグラフィを用いて、いわゆるクロムレス位相シフトマスクの作製プロセスと同様にして形成した。又、マスクの照明光学系107側に、幅 1.2mm 、周期 4mm の遮光パターンを有する透明石英板108を設けた。上記遮光パターンの遮光領域は、ウエハー側透明石英板106上の遮光パターンと共役となるように設定した。

【0044】透明石英板103両面の位相格子の周期、

各透明石英板の膜厚と設置位置等は、作用の項に述べた意味における投影光学系瞳上の収差が軸対称となるよう、光線追跡プログラムの最適化機能を用いて最適化した。さらに、上記軸対称な収差補正のため、収差補正フィルター109を投影光学系の瞳位置に挿入した。ここで、収差補正フィルター109は、主に上記回折格子の周期方向と垂直な方向の非点収差を補正するものである。なお、これらの回折格子等を有する透明石英板と収差補正フィルターは、いずれも交換可能で、所定の位置にすみやかに設定できるようにした。又、透明石英板の位置ぎめを正確に行うために、各石英基板のホルダー（図示せず）は微動機構（図示せず）を有し、各石英基板の位置を計測してこれを所望の位置に設定することができる。さらに、ウェハーステージ104上に設けたオートフォーカスモニター（図示せず）により像をモニターすることにより、像面上で最適な結像特性が得られるように、モニター結果をフィードバックして各石英基板の位置を調整することも可能とした。なお、投影光学系自体をあらかじめ上記回折格子に対して収差補正を施してもよく、この場合には収差補正フィルターは必要ない。露光は、マスク及びウェハを同期スキャンしながら行なった。ステージ制御系110は、マスクステージ100とウェハーステージ104を、各々4:1の速度比で同期走査する。

【0045】上記露光装置を用いて、周期型位相シフトパターンを含む様々な寸法のパターンを有するマスクを、化学増幅系ポジ型レジスト上へ転写した。露光後所

$$\begin{aligned} w_{\pm}(s) &= w u_{\pm}(s) + w s_{\pm}(s) \\ w u_{\pm}(s) &= C_1 h_1 + C_2(s_1) h_2 + C_5 h_5 + C_6 h_6 \\ w s_{\pm}(s) &= C_3 h_3 + C_4 h_4 \\ C_1 &= \tan[(s \pm s_0)/M]/M, \quad C_2 = \tan[\pm(s_1/n) - (s \pm s_0)/(nM)]/M, \\ C_3 &= \tan[s/M]/M, \quad C_4 = \tan(s), \\ C_5 &= \tan[(s \pm s_0)/n], \quad C_6 = \tan(s \pm s_0) \end{aligned}$$

ここで、 $w u$ は瞳上で $s = 0$ に対して非対称な成分、 $w s$ は対称な成分を表す。但し、 $s_0 = NA$ 、 $s_1 = \lambda/P$ Aである。 $s_0(NA)$ 、縮小倍率 M 、透明石英基板の屈折率 n はシステム固有の値とすると、上式は7つの最適化パラメータ、 $h_i (i = 1 \sim 6)$ 及び s_1 を含む。そこで、 $w u_{\pm}(s)$ 、 $w s_{\pm}(s)$ に対して収差を最小とすべく7つの拘束条件を課すことにより、これらの値を最適化した。いくつかの NA に対する最適化結果の一例を表1に示す。但し、収差は $h_i s / \lambda$ を単位とする波面収差で表した。

【0049】

【表1】

定の現像処理を行い、走査型電子線顕微鏡で観察した結果、上記位相格子の周期方向（ x 方向）に対して周期型位相シフトマスクにより寸法90nm（周期180nm）のレジストパターンが形成できた。一方、上記方向と垂直な方向（ y 方向）の解像度は、位相シフトマスクを用いて寸法140nm（周期280nm）程度であった。そこで、次に、上記3枚の位相格子及び収差補正フィルターを90度回転して同じマスクを露光してレジストパターンを形成したところ、 x 方向と y 方向に対する解像度は逆転した。

【0046】なお、上の実施例は、光学系の種類、 NA 、光源波長、縮小率、レジスト、マスクパターンの種類と寸法、回折格子と遮光パターンの周期や設置位置等、きわめて限定されたものであるが、これらの各種条件は本発明の主旨に反しない範囲内で様々に変更可能である。

【0047】（実施例2）次に、回折格子導入に伴う収差の影響が最小となるよう、光学系を最適化した例を示す。図10の光学系において、 O 、 I は、回折格子を導入した光学系のマスク面と像面、 Σ 、 Σ' は回折格子を導入しない投影光学系のマスク面と像面、 $h_i (i = 1 \sim 6)$ は図中の距離を示す。回折格子A、B、Cとウェハ直上の遮光パターンは実施例1同様透明石英基板の両面に形成した。このとき、マスク通過後に光軸に対して±の角度を有する光線に対する横収差 $w_{\pm}(s)$ は、規格化瞳半径座標 s の関数として次のように表される。

【0048】

表1

NA	0.1	0.2	0.3	0.4
h_1/h_s	17.352	16.167	14.263	11.343
h_2/h_s	0.529	0.995	1.343	1.507
h_3/h_s	24.014	22.800	20.137	14.819
h_4/h_s	0.368	0.485	0.652	0.920
h_5/h_s	0.01	0.01	0.01	0.01
s_1	1.225	1.259	1.300	1.349
$w_{\max}(s)$	5×10^{-9}	3×10^{-7}	4×10^{-6}	5×10^{-6}
$w_{\max}^H(s)$	1×10^{-12}	1×10^{-9}	2×10^{-7}	1×10^{-5}

$$w_{\max}^U(s) = \max[w_+(s) - w_-(s)]$$

$$s_1 = n \lambda / PA$$

【0050】表からわかるように、 $NA=0.4$ においても十分に収差を抑えることが可能であった。同様の最適化は、回折格子A、Bが各々別の透明基板上に設けられている場合等、様々な配置に対して行うことができる。さらに、新たな透明基板や回折格子を導入することにより最適化のパラメータを増やすことにより、さらに厳しい収差条件を満足させることができる。

【0051】(実施例3)次に、実施例1に示した露光装置を用いて、 $0.1\mu m$ 設計ルールでのDRAMを作成した例について述べる。図11は、上記デバイスの作製工程を露光プロセスを中心に示したものである。

【0052】まず、ウェル等(図示せず)を形成したSi基板201上にアイソレーション202及びゲート203を形成した(図11a)。アイソレーション及びゲートパターンは周期型位相シフトマスクを用い、実施例1に示した露光装置により露光した。ここで、シミュレーションにより周期パターンの周辺部においてパターン形状が歪む部分が生じることが予測されたため、この不要部分を除去するためのマスクを用意した。上記マスクを上記露光を行ったものと同一レジスト膜に対して従来露光装置を用いて重ね露光した後現像して、回路性能上好ましくない部分を除去した。なお、上記不要部分を除去せずに、回路的に無視することによって対処してもよい。

【0053】次に、キャパシター204及びコンタクトホール205を形成した(図11b)。コンタクトホールのパターン露光には、電子線直接描画法を用いた。次に、第1層配線206、スルーホール(図示せず)、第2層配線207を形成した(図11c)。第1層配線($0.1\mu m$ L/S)は周期型位相シフトマスクと実施例1に示した露光装置を用いて露光した。但し、ここで各回折格子の方向と寸法を図9cに示したものに變更し、さらにこれを90度回転させて多重露光を行った。このとき、同時に収差補正フィルタ109も回折格子とともに90度回転させた。これにより、縦横の両方向に延びる配線に対して方向依存性なしに $0.1\mu m$ L/Sを形成できた。スルーホールの形成はコンタクトホールと同様、電子線直接描画法を用いた。以降の多層配線パターン及びファイナルパッシベーションパターンは $0.2\mu m$ ルールで設計されており、本発明を用いない通常のKrFエキシマレーザ投影露光法により形成した。なお、デバイスの構造、材料等に関し、上記実施例で用いたものにとらわれず変更可能である。

【0054】(実施例4)次に、本発明の別の実施例として、本発明を分布帰還型(DFB)レーザの製作に適用した例について述べる。露光装置には、 $NA0.5$ のArFエキシマレーザ縮小投影露光装置を実施例1同様にして改造したものを用いた。従来の $1/4$ 波長シフトDFBレーザの作製工程において、電子線描画法等を用いて形成していた周期 $140nm$ の回折格子を、周

期型位相シフトマスクと上記露光装置を用いて形成した。これにより、電子線描画法等を用いて作製したものとほぼ同等の性能を有するDFBレーザを、より短期間で製作することが可能となった。

【0055】

【発明の効果】以上、本発明によれば、照明光学系を介して光をマスクに照射し、マスクパターンを投影光学系により基板上へ結像させてパターンを形成する際、上記基板と上記投影光学系の間に上記基板と平行に回折格子を設けるとともに、上記回折格子により回折された光の干渉により基板面近傍でマスクパターンの像が再生されるように、投影光学系とマスクの間又はマスクと照明光学系の間に回折格子又は結像光学系を設けることにより、従来露光装置の解像限界を越えた微細パターンの形成が可能となる。具体的には、投影光学系の NA を変えることなしに、その NA を実質的に最大2倍にしたのとはほぼ同等の効果が得られる。これにより、従来露光装置の光学系の基本的な構成を大きく変更することなく、大きな露光フィールドと高い解像力が得られ、大量生産に適した縮小投影光リソグラフィを用いて、寸法 $0.1\mu m$ クラスのLSIの製造が可能となる。

【0056】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による一光学系の結像の原理を幾何学的に示す模式図である。

【図2】各種従来露光法による結像の原理を示す模式図である。

【図3】本発明による一光学系に位相シフトマスク又は斜め照明法を適用した場合の結像の原理を示す模式図である。

【図4】本発明による一光学系の結像の原理を回折光学的に示す模式図である。

【図5】本発明による一光学系の一部分と露光方法の一例を示す模式図である。

【図6】本発明による一光学系の特性を示す模式図である。

【図7】本発明で用いる光学部品とそれにより得られる効果を示す模式図である。

【図8】本発明で用いる光学部品とそれにより得られる効果を示す模式図である。

【図9】本発明の一実施例による露光装置の構成を示す模式図である。

【図10】本発明の別の実施例の特性を示す図である。

【図11】本発明の別の実施例によるデバイス作製工程を示す模式図である。

【符号の説明】

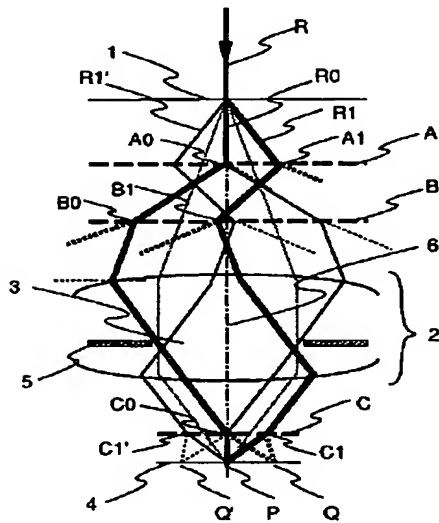
1…マスク、2…投影光学系、3…瞳、4…ウエハー、5、20…絞り、6、29…光軸、A、B、C…回折格子、R…光、 R_0 、 R_0' …0次回折光、 R_1 、 R_+ 、 R_1'' …+1次回折光、 R_1' 、 R_- …-1次回折光、

A0、A1…回折格子A上の点、B0、B1…回折格子B上の点、C0、C1、C1'…回折格子C上の点、Q、P、Q'…像面上的点、21…従来透過型マスク、22…光、23…投影光学系、24…瞳、25…像面、26…周期型位相シフトマスク、27…マスク回折光の0次光、28…+1次光、51…像面、52…遮光マスク、53…石英基板、O…マスク上の点、X1、Y1、Z1…回折格子A上の点、X2、Y2、Z2…回折格子B上の点、X3、Y3、Z3…回折格子C上の点、I…像面上の

点、100…マスクステージ、101…マスク、102…投影光学系、103…透明石英板、104…ウエハーステージ(試料台)、105…ウエハー、106…透明石英板、107…照明光学系、108…透明石英板、109…収差補正フィルター、110…ステージ制御系、201…Si基板、202…アイソレーション、203…ゲート、204…キャパシター、205…コンタクトホール、206…第1層配線、207…第2層配線。

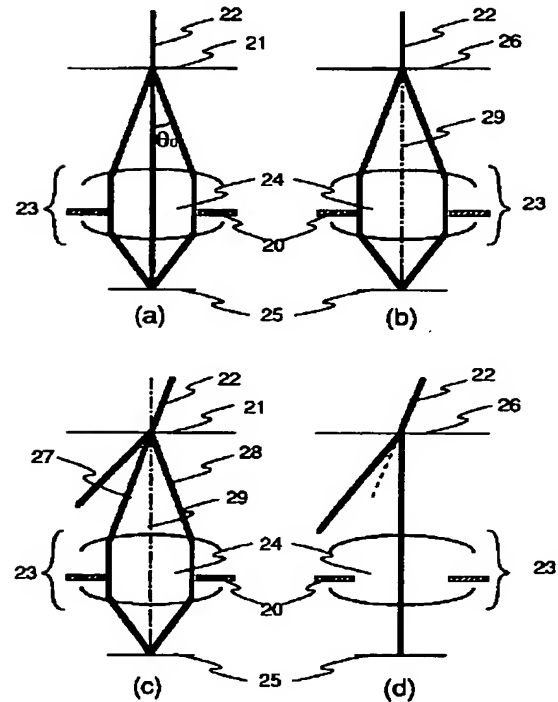
【図1】

図1



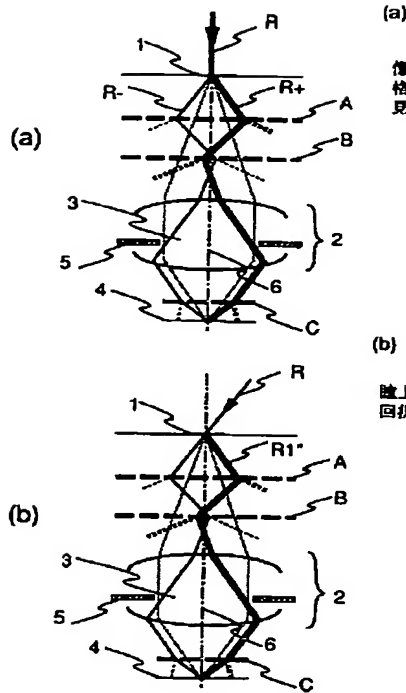
【図2】

図2



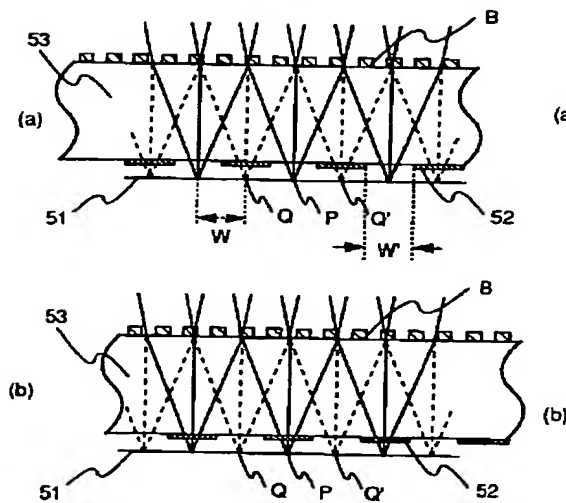
【 図3 】

図 3



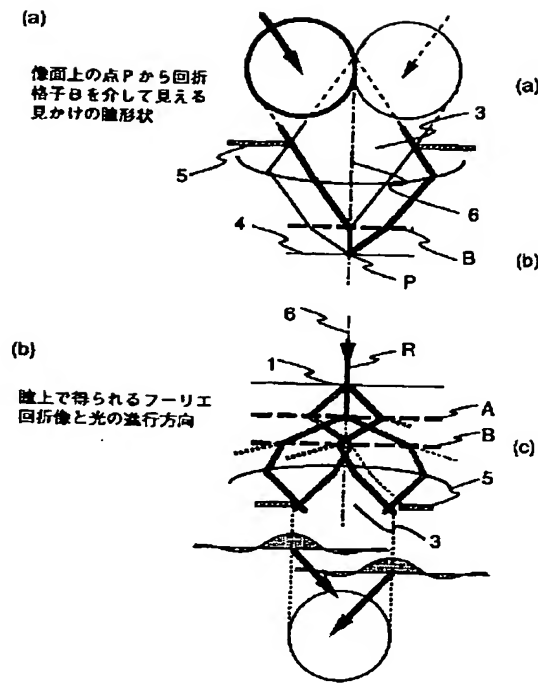
【 図5 】

図 5



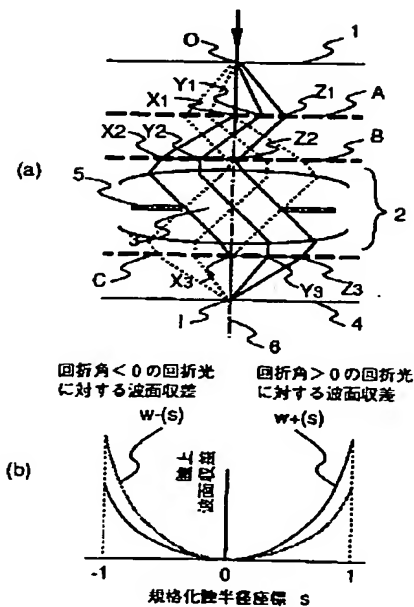
【 図4 】

図 4



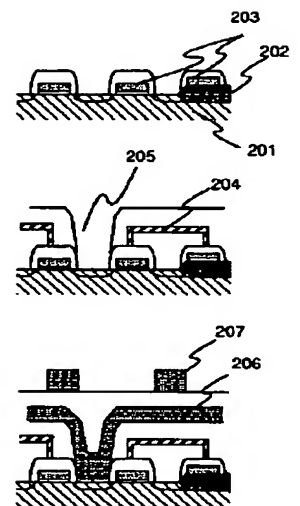
【 図6 】

図 6



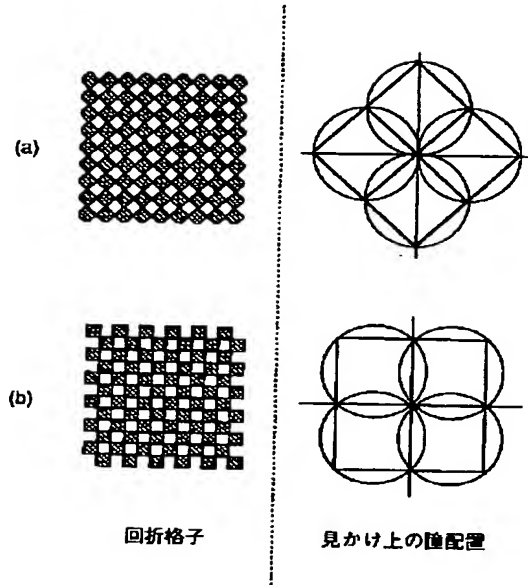
【 図11 】

図 11



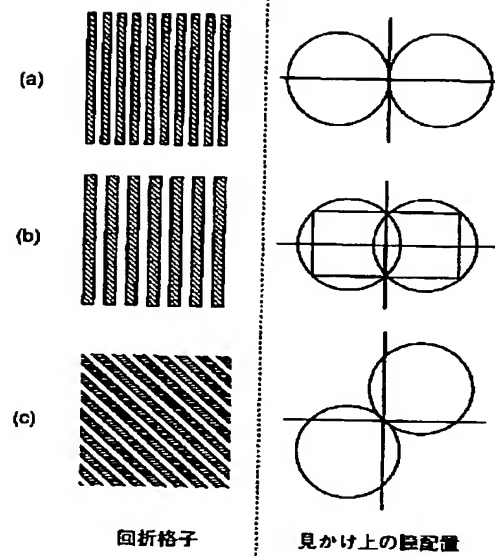
【図7】

図7



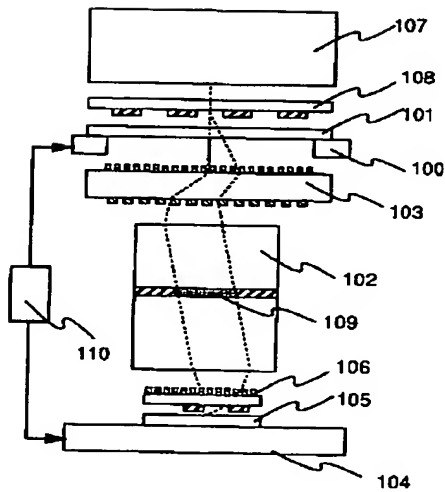
【図8】

図8



【図9】

図9



【図10】

図10

